

The Application of an Hybrid Trilateration Method for Multi-Robot Localization System

ENDAH S. NINGRUM¹, ALI HUSEIN A²

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS ITS Sukolilo, Surabaya
e-mail: ¹endah@eepis-its.edu, ²ali@eepis-its.edu, ³risky@eepis-its.edu

Abstract - The ability to know the location (localization) of robots in the environment or other robots, play an important role in multi-robot systems. Many methods and sensors had been propose, for example Dead-Reckoning; GPS; Vision based; etc.. Dead-Reckoning produce an accumulation errors, if used in a wide area or in a long time moving[1]. GPS has a level of significant errors when applied to a small robot or on the environment that are not large [2], while the vision has a poor response when applied to a fast-moving robots [3]. This research applied the trilaterasi methods that have been commonly used in communications systems, for localization in a multi-robot system composed of robots +11 cm in diameter. Sensors that are used in the form of 3 receiver with relatively fixed position to each other on a robot and an ultrasonic transmitter on the other robots. The principle of measurement based on the arrival time difference, or TDOA and processed by equation trilaterasi [4], to get the distance and relative orientation of the robot. Tests conducted on the condition still and moving the robot, at a certain distance and orientation, with a range of distance measurements between 30cm to 180cm. The result shows that this method successfully applied to the robot, with the average accuracy of 6% in the room, and the average accuracy of 5,2% outside the room. From the results of the analysis is also known that due to lack of the presence of some obstacles, that generate a magnetic field and the significant temperature changes in the robot environment. Another weakness of the system this system can not be used the same sensors (ultrasonic) for the purposes of obstacle detection, because it causes the interference.

Keywords Multi-robot, localization, trilaterasi, ultrasonic, TDOA.

I. Pendahuluan

Topik penelitian tentang sistem multi robot banyak dilakukan saat ini, penerapan yang sangat luas menjadi salah satu alasan kuat mulai dari bidang industri, militer, monitoring lingkungan sampai ke hiburan. Banyak kelebihan yang ditawarkan oleh sistem multi-robot dibandingkan dengan single-robot, salah-satunya adalah kemampuannya untuk saling berkoordinasi dan bekerja-sama untuk menyelesaikan suatu tugas dengan lebih efektif. Apabila salah satu robot gagal bekerja, tidak membuat sistem gagal untuk menyelesaikan tugas. Kemampuan untuk saling bertukar data sampai dengan kemampuan untuk dapat melakukan tukar menukar energi merupakan kelebihan lain yang dimiliki oleh multi-robot sistem.

Kelebihan multi-robot sangat ditopang oleh kemampuan dasar semisal pengalokasian yang baik. Agar robot berinteraksi dengan baik dengan lingkungan; robot lain; atau pengguna, maka robot harus dapat mengetahui posisi atau lokasi dirinya terhadap lingkungannya. Banyak metode yang dikembangkan secara terpisah oleh para peneliti misalnya metode dead-reckoning. Karena menggunakan prinsip odometry dan kompas untuk mengetahui perubahan posisi dari robot berdasarkan perubahan waktu, metode ini menghasilkan akumulasi kesalahan yang cukup signifikan [1]. Penelitian yang lain menggunakan GPS (Global Positioning System) untuk mengetahui posisi robot pada koordinat global, metode ini cukup baik digunakan, namun beberapa hasil penelitian

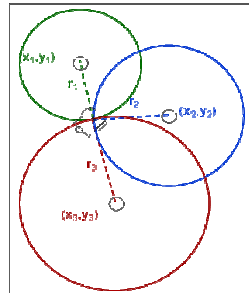
menunjukkan bahwa sistem ini tidak begitu akurat jika diterapkan pada robot dengan dimensi kecil dan lingkungan gerak yang tidak terlalu luas[2]. Perbandingan lain adalah menggunakan vision atau kamera, baik yang dipasang secara global atau lokal pada robot. Cara ini memiliki kelemahan jika diaplikasikan pada onyek atau robot yang bergerak secara dinamis dan cepat [3].

Dibidang sistem komunikasi telah dikenal metode trilaterasi untuk penentuan posisi dari sebuah titik terhadap 3 titik tetap lain. Pada penelitian ini telah dikembangkan metode yang sama untuk menentukan posisi satu robot terhadap robot lain, dengan pengembangan pada sisi penggunaan instrumentasi pengukuran menggunakan sensor ultrasonik berdasarkan prinsip pengukuran perbedaan waktu tiba atau TDOA (Time Different of Arrival). Metode Trilaterasi jugadigunakan pada prinsip kerja modul GPS untuk menentukan posisi obyek berdasarkan kedudukannya terhadap posisi tiga satelit.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Metode Trilaterasi

Trilateration adalah metode untuk menentukan interseksi tiga bidang permukaan berbentuk lingkaran yang diketahui pusat dan jari-jarinya. Dalam robotika metode ini dapat digunakan untuk menghitung posisi robot bila diketahui jarak robot dengan titik-titik suar seperti tampak pada gambar1.



Gambar 1. Metode Trilaterasi

Perhitungan trilaterasi dimulai dengan persamaan dari ketiga lingkaran dimana n adalah jumlah receiver:

$$x_n^2 + y_n^2 = r_n^2 \quad (1)$$

Bila robot berada pada titik (x,y) terhadap masing masing lingkaran maka dapat dituliskan tiga persamaan kuadrat jarak yaitu:

$$(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 - r_n^2 = 0 \quad (2)$$

Bila titik (x,y) merupakan interseksi dari ketiga lingkaran maka artinya ketiga persamaan diatas mewakili posisi yang sama sehingga persamaan-persamaan tersebut dapat saling dipasangkan untuk mendapatkan persamaan-persamaan turunannya sbb:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 - r_1^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 - r_2^2 \quad (3)$$

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 - r_1^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 - r_3^2 \quad (4)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 - r_2^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 - r_3^2 \quad (5)$$

Selanjutnya dengan mencari variabel yang sama dari pasangan persamaan (3) dan (4), pasangan persamaan (3) dan (5), kemudian pasangan persamaan (4) dan (5), kemudian dilakukan proses substitusi, maka diperoleh dua persamaan baru sbb:

$$x = y \frac{(y_3 - y_2)}{(x_2 - x_3)} + \frac{1}{2} \frac{[x_2 - x_3 + y_2 - y_3 - r_2 - r_3]}{(x_2 - x_3)} \quad (6)$$

$$x = y \frac{(y_3 - y_2)}{(x_2 - x_3)} + \frac{1}{2} \frac{[x_2 - x_3 + y_2 - y_3 - r_2 - r_3]}{(x_2 - x_3)} \quad (7)$$

Dengan cara penggabungan, y dapat diperoleh dengan memasukkan salah satu persamaan ke persamaan yang lainnya sbb:

$$y = \frac{\left\{ \frac{1}{2} \frac{[x_{22} - x_{32} + y_{22} - y_{32} - r_{22} - r_{32}]}{(x_2 - x_3)} - \frac{1}{2} \frac{[x_{12} - x_{22} + y_{12} - y_{22} - r_{12} - r_{22}]}{(x_1 - x_2)} \right\}}{\left[\frac{(y_2 - y_1)}{(x_1 - x_2)} - \frac{(y_3 - y_2)}{(x_2 - x_3)} \right]}$$

Untuk mendapatkan x, nilai y dapat dimasukkan langsung pada salah satu persamaan (6) atau (7) sehingga diperoleh persamaan sbb:

$$x = \frac{[2y(y_1 - y_2) - x_{12} + x_{22} - y_{12} + y_{22} + r_{12} + r_{22}]}{(-2x_1 - x_2)}$$

2.2 Sensor Ultrasonik

Ultrasonik adalah gelombang bunyi dengan frekuensi – frekuensi di atas daerah audio manusia, dengan kata lain adalah gelombang dengan frekuensi di atas 20 KHz. Manusia tidak dapat mendengar gelombang suara diatas 20 KHz tetapi beberapa binatang seperti kelelawar dan anjing dapat mendengar oleh bahkan hewan – hewan tersebut mampu mendengar gelombang suara sampai dengan frekuensi 100 KHz. Gelombang ultrasonik telah lama dimanfaatkan dalam bidang industri, medis dan lain-lain. Beberapa aplikasi yang sering kita jumpai diantaranya adalah deteksi keretakan dalam bahan, , diagnosis medis, sensor ketinggian fluida, kendali jauh, peranti anti tabrakan, deteksi obyek, dan masih banyak aplikasi lainnya.

Frekuensi kerja yang digunakan dalam gelombang ultrasonik bervariasi tergantung pada medium yang dilalui, mulai dari kerapatan rendah pada fasa gas, cair hingga padat. Jika gelombang ultrasonik berjalan melalui sebuah medium, Secara matematis besarnya jarak dapat dihitung sebagai berikut:

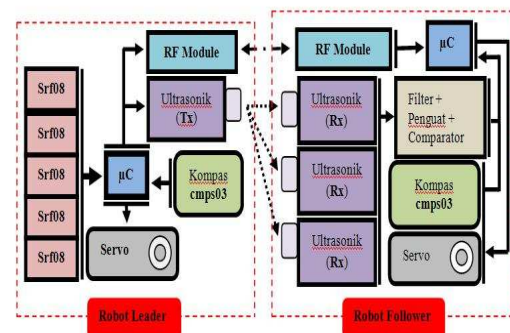
$$S = \frac{(V \cdot t)}{2}$$

Dimana, S adalah jarak dalam satuan meter, V konstanta kecepatan suara yaitu 344m/s, sedangkan t adalah lama waktu tempuh mulai gelombang dipancarkan sampai diterima kembali.

III. Desain Sistem

3.1 Blok Diagram dan Cara Kerja Sistem

Aplikasi dari penelitian ini dibuat berupa dua robot yang nantinya akan difungsikan sebagai pasangan robot leader dan follower. Sedangkan blok diagram sistem keseluruhan sebagai berikut.

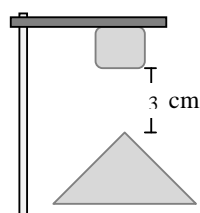


Gambar 2. Blok Diagram Sistem Trilateration

Pada robot *leader* dan *follower* komponen RF module, kompas elektronik, dan transmitter ultrasonik bekerja secara terintegrasi untuk mendukung sistem trilateration yang dibangun dengan berdasarkan konsep TDOA (Time Different Of Arrival). Mikrokontroler membaca data pada kompas elektronik kemudian dikirimkan secara nirkabel menggunakan RF Module X-Bee Pro. Selain berisi informasi pembacaan data kompas robot leader paket data yang dikirimkan juga berfungsi sebagai sinyal trigger kepada robot follower untuk segera melakukan perhitungan counting. Pada saat yang bersamaan robot leader juga menyebarkan sinyal burst (ultrasonik) yang nantinya diterima Receiver pada robot follower.

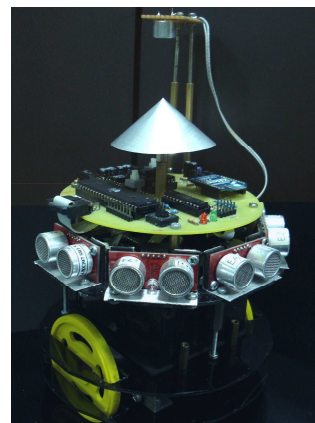
3.2 Sistem Sensor

Pada sistem Trilateration ini digunakan tiga buah Receiver ultrasonik yang digunakan oleh robot follower dan satu Transmitter ultrasonik yang berguna untuk memancarkan sinyal ultrasonik (burst) oleh robot leader.

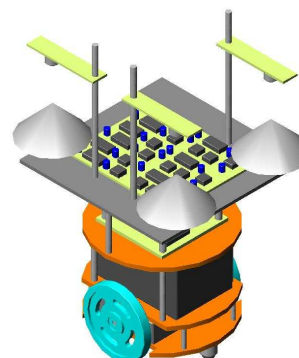


Gambar 3. Desain transmitter dengan cone penyebar (reflector)

Transmitter ultrasonik ini dirancang untuk memantulkan sinyal (ultrasonik) ke segala arah (omni-directional) dengan menggunakan kerucut aluminium (cone) sebagai reflector. Sinyal tersebut kemudian difokuskan kembali menggunakan cone pada sisi receiver. Menurut datasheet dari sensor ultrasonik, membrane dari sensor ini akan menghasilkan sinyal ultrasonik dengan frekwensi 40KHz dan besar sudut elevasi 40°. Sinyal ini merambat dalam udara dengan kecepatan kurang lebih 343 m/s.

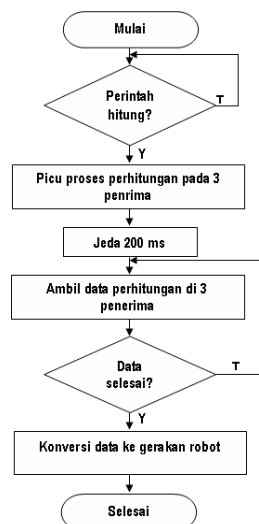


Gambar 4. Mekanik robot dilengkapi dengan reflektor transmitter ultrasonik



Gambar 5. Mekanik robot dilengkapi dengan reflektor receiver ultrasonik

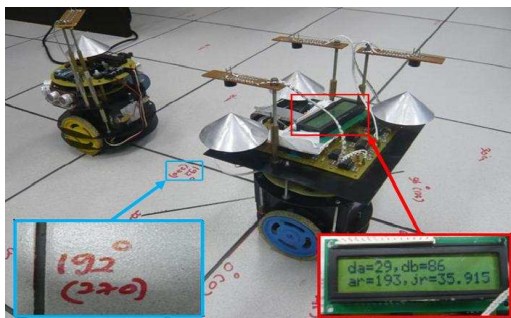
3.2 Algorithma Trilaterasi



Gambar 6. Flowchart Sistem Trilateration Secara Garis Besar.

IV. Hasil Pengujian

4.1. Pengujian Akuisisi Data Arah dan Jarak



Gambar 7. Pengujian Kalkulasi Arah Dan Jarak Trilaterasi

Untuk arah yang diuji, jarak antar kedua robot dibuat bervariasi antara 30cm s.d. 180cm. Hasil kalkulasi arah robot 1 akan ditampilkan pada LCD, seperti dapat dilihat pada gambar 7., untuk kemudian ditabelkan. Hasil kalkulasi robot kemudian dibandingkan dengan jarak dan arah yang sesungguhnya sehingga dapat diketahui presentase error yang dihasilkan sistem trilateration tersebut.

Tabel 1. Data Pengujian Kalkulasi Arah Trilaterasi

Sudut (0-255)	Jarak (cm)					
	30	60	90	120	150	180
0	1.17%	1.96%	0.39%	1.56%	1.9%	1.56%
32	6.52%	9.37%	50%	28.1%	18.7%	40.6%
64	6.25%	7.81%	0%	1.56%	6.25%	3.12%
96	1.04%	1.04%	6.25%	9.37%	13.5%	16.6%
128	2.34%	2.34%	2.34%	5.47%	2.34%	0.78%
160	1.87%	1.25%	3.75%	2.5%	2.5%	0.63%
192	2.08%	2.08%	3.12%	2.08%	1.04%	2.08%
224	1.34%	2.68%	1.79%	2.23%	2.68%	2.23%

Dari tabel 1. dapat dilihat bahwa prosentase kesalahan bervariasi terhadap arah. Pada arah tertentu yaitu 32 terlihat error sangat besar mencapai 50%, namun tidak demikian untuk arah yang lain. Dapat disimpulkan kesalahan tersebut dipengaruhi kondisi medan magnet lingkungan yang tidak linier.

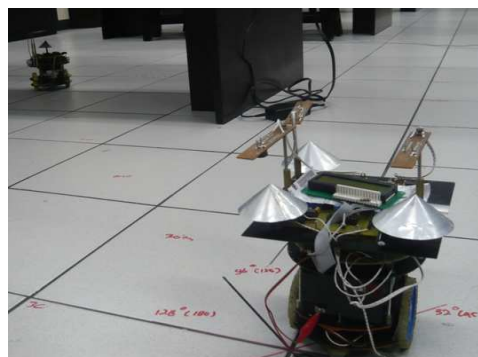
Pengujian berikutnya adalah untuk pengukuran jarak. Hasil pengukuran seperti tampak pada tabel 2. Dapat dilihat untuk masing-masing sudut pengukuran didapat jarak dengan tingkat kesalahan yang berbeda.

Tabel 4.4 Persentase Error Pengujian Kalkulasi Jarak Trilaterasi

Sudut (0 – 255)	Jarak (cm)					
	30	60	90	120	150	180
0	14.67%	1.17%	3.56%	8.33 %	7.33%	19.00%
32	16.67%	6.67%	20.00%	2.50 %	6.67%	1.11%
64	13.33%	0.67%	3.33%	0.00 %	2.00%	7.22%

96	10.00%	11.67%	3.33%	2.50 %	8.67%	58.33%
128	19.67%	20.00%	5.33%	18.3 %	26.67%	30.00%
160	113.3%	25.00%	16.67%	4.17 %	6.67%	0.00%
192	20.00%	20.00%	16.67%	35.00%	26.67%	30.00%
224	14.67%	1.17%	3.56%	8.33 %	7.33 %	19.00%

Data hasil pengujian yang telah ditabelkan merupakan data terbaik yang dihasilkan karena beberapa pengujian dalam satu variasi memiliki presentase error yang berubah – ubah. Ada saatnya data yang dihasilkan adalah data ideal seperti pada pengujian kalkulasi jarak trilaterasi pada jarak 180 cm dengan sudut 160 (satuan byte). Rata – rata error terbesar terjadi pada jarak antar robot terdekat. Beberapa fakta yang kami temukan dalam pengujian adalah jika posisi antara robot terdapat banyak benda atau halangan menyebabkan presentase error yang sangat besar seperti pada kalkulasi jarak dengan jarak 180 cm dengan sudut 96 (satuan byte). Gambar 8. menjelaskan kronologi pengujian dengan beberapa halangan.



Gambar 4.4 Sejumlah Obstacle Menyebabkan Error Bertambah Besar

V. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian pengukuran sudut trilaterasi di ruang tertutup (laboratorium) didapatkan bahwa prosentase kesalahan bervariasi terhadap arah dimana pada arah tertentu misalnya 32 derajat terlihat error sangat besar mencapai 50%, namun tidak demikian untuk arah yang lain. Analisa dari hasil pengamatan menunjukkan adanya medan magnet yang tidak linier terhadap arah sudut dan kesalahan tersebut dipengaruhi kondisi lingkungan.
2. Dari hasil pengujian pengukuran jarak trilaterasi di ruang tertutup (laboratorium) didapatkan bahwa prosentase kesalahan semakin besar pada jarak dekat, hal ini dikarenakan terdapat ketidakakuratan pada sinkronisasi sinyal ultrasonik yang dikirim dengan bagian penerima. Kesalahan terjadi pada bagian penghitung waktu tiba sinyal menyebabkan kesalahan yang cenderung membesar pada jarak dekat.

3. Pada pengujian diruang terbuka berupa lapangan datar diperoleh hasil pengukuran jarak yang lebih baik dibandingkan dalam ruangtertutup yaitu dengan error rata-rata 15%, kemungkinan dikarenakan tidak adanya pengaruh halangan (seperti efek pantuk) terhadap gelombang ultrasonik yang dipancarkan.
4. Namun pada pengujian pengukuran sudut trilaterasi didapatkan hasil sebaliknya dimana error rata-rata sedikit lebih buruk yaitu 60%. Hal ini dikarenakan kondisi medan magnet bumi pada daerah uji ternyata tidak uniform dan sangat bervariasi terhadap arah yang sebenarnya.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pribadi, Wahyu. *Sistem Pendeteksian Sound Damper dalam Navigasi Robot Cerdas Pemadam Api*, Tugas Akhir: T. Elektronika PENS-ITS: 2005.
- [2] All Data sheet, Website <http://www.alldatasheet.com>. Diakses pada 20 Juni 2009 puku 18:59.
- [3] Alasiry, Ali Husein. *Realization of self-Organizing Sensor Network System for Temperature Distribution Measurement*, Master Thesis: Kobayashi-Ohyama lab; 2004.
- [4] Website <http://www.delta.com>. Diakses pada 28 Juni 2009 pukul 19:08.
- [5] Ardiansyah, M Nurdin. *Rancang Bangun Sistem Komunikasi Monitoring Daya Listrik Secara wireless Multihop*, Tugas akhir: T. Elektronika PENS-ITS: 2008.
- [6] Sangadi, Hariski Priyo. *Algoritma Multihop dan Pencarian Rute Otomatis untuk Sistem Komunikasi pada Monitoring Daya listrik Secara Wireless*, Tugas Akhir: T. Elektronika PENS-ITS:2008.